

ソフトウェア工学研究会 (98.3) CRC 法によるオブジェクト指向概念の教育

高橋 富夫 *1

学習者は、新しい概念を自分の保有する既存の概念と比較をしながら理解しようとする。オブジェクト指向の学習では、オブジェクト指向の概念を学習し、どのようにしてオブジェクトを見つけるかを学ぶ。オブジェクトを見つけるとは、そのオブジェクトがどのような「知識」と「責任」を持ち、仕事を実行するために他のオブジェクトとどのように「協調」するかを理解することを意味する。構造化パラダイムの経験者がオブジェクト指向の概念を理解しようとするときの最大の障壁は、オブジェクトが知識と責任を持つとか、他のオブジェクトと協調するという、擬人化してものを考えるという経験をもっていないことである。

CRC 法は、分析段階で参加メンバがオブジェクトそのものになりきることを徹底的に要求する。その点で、CRC 法は、擬人化してものを考える訓練には適した技法である。筆者らは、学習者の大部分が構造化パラダイムの経験者であるオブジェクト指向集合教育に CRC 法を適用していくつかの教訓を得た。

- ・集合教育では、本来の CRC 法をそのままの姿で実施することは効率の点で問題がある。
- ・筆者らが集合教育用に変更した CRC 法は、インスタンスの初期化、関係、ポリモフィズムの理解に効果がある。
- ・クラスとインスタンスの相違、インスタンスの生成、継承、カプセル化については、通常の説明によって理解できる。

本稿では、学習者が擬人化を体験する場として変更した CRC 法の実施方法を述べ、その CRC 法がオブジェクト指向概念の学習にどのように貢献するかを評価する。

OO Education With CRC Method

Tomio Takahash *1

People try to learn new concepts by comparing them with what they have already known. OO education starts with learning OO concepts to find objects, which means that learners have to understand that object should have knowledge and responsibilities, and collaborate with other object to do his job. Traditional software engineers have difficulty in learning OO concepts because most of them are not familiar with the way of thinking of 'personification' to the effect that object has knowledge responsibilities, and collaborate with other objects, which is essential in OO modeling.

CRC method, one of OO analysis methods, forces analysts to be objects and it suits best to experience 'personification.' We have applied this method to OO classroom education, where most of the students are the users of traditional paradigm, and have learned much,

- (1) To be efficient in classroom, some modifications to CRC method are recommendable.
- (2) The modified CRC method for classroom education is a good method to learn such OO concepts effectively, as, initialization of instance, relations, message-passing, and polymorphism.
- (3) Such OO concepts as the difference between class and instance, instantiation, inheritance, and encapsulation can be learned by traditional lecture.

Based on my experience, I introduce you how I modified original CRC method, and describe its application to classroom OO education and its evaluation.

*1 261 千葉市美浜区中瀬 1-9-3 富士通 システム技術統括部
1-9-3 Nakase Mihama-ku Chiba-shi; Fujitsu Ltd. SE technical Service & Support Div.

1. はじめに

学習者は、新しい概念を自分の保有する既存の概念と比較をしながら理解しようとする。オブジェクト指向の学習は、オブジェクト指向の概念を学習し、どのようにしてオブジェクトを見つけるかを学ぶ。オブジェクトを見つけるとは、そのオブジェクトがどのような「知識」と「責任」を持ち、仕事を実行するために他のオブジェクトとどのように「協調」するかを理解することを意味する[1]。構造化パラダイムの経験者がオブジェクト指向の概念を理解しようとするときの最大の障壁は、オブジェクトが知識や責任を持つとか、他のオブジェクトと協調するという、擬人化してものを考えるという経験をもっていないことである。

CRC法 [1][2] は、分析段階で参加メンバーがオブジェクトそのものになりきることを徹底的に要求する。その点で、CRC法は、擬人化してものを考える訓練には適した技法である。筆者らは、学習者の大部分が構造化パラダイムの経験者であるオブジェクト指向集合教育にCRC法を適用していくつかの教訓を得た。

- ・集合教育では、本来のCRC法をそのままの姿で実施することは効率の点で問題がある。
- ・筆者らが集合教育用に変更したCRC法は、インスタンスの初期化、関係、ポリモフィズムの理解に効果がある。
- ・クラスとインスタンスの相違、インスタンスの生成、継承、カプセル化については、通常の説明によって理解できる。

次章では、オブジェクト指向の教育コースの概要を紹介し、学習者の経験とオブジェクト指向学習上の問題点を述べる。第三章では、CRCの概要を紹介し、第二章で述べた問題点への対応方法を述べる。第四章ではCRC法の効果を述べ、第五章ではまとめを行う。

2. オブジェクト指向分析コースの問題点

本章では、筆者らが実施してきたオブジェクト指向分析コースの概要を紹介し、オブジェクト指向の概念の学習という観点より問題点を述べる。

(1) オブジェクト指向分析コースの概要

オブジェクト指向分析コースの教育形態、期間、学習目的、受講前提知識、学習内容を以下に列挙する。

- ・教育形態：集合教育

- ・期間：二日間

- ・学習目的：オブジェクト指向の分析ができること
- ・受講前提知識：オブジェクト指向の基本的概念と表記法を理解していること
- ・学習内容：ユースケース、シナリオの作成、オブジェクトの抽出、シーケンス図、および、クラス図の作成

(2) 理解度の把握方法

学習者の理解度を把握するために、以下の方法で、調査を行った。

- ・対象人数：2つのクラスの合計 37名
- ・対象知識：8つの概念
 - ①クラスとインスタンスの違い、②インスタンスの生成方法、③インスタンスの初期化の方法、④関係、⑤メッセージパッシング、⑥継承、⑦カプセル化、⑧ポリモフィズム
- ・知識と経験の深さ：5レベル
 - ①知らなかった、②ピンとこない、③理解しているとおもう、④人に説明できる、⑤簡単なものなら使える
- ・把握の時点：3時点
 - ①コース開始前、②オブジェクト指向の基本的概念説明の直後、③CRC法による演習直後
- ・把握の方法：無記名のアンケート
- ・把握の時期：1997.11
- ・分析のためのグループ分け：2グループ
 - ①知らないグループ：8つの概念のうち、1つでも知らなかった概念があった学習者群。20名。
 - ②説明できるグループ：8つの概念のうち、1つでも人に説明できる概念があった学習者群。13名

(3) 主要な問題点

前述のとおり、本コースは分析コースであり、オブジェクトの概念を学習する分析コースではない。学習者にはこのコースの受講前提知識を明示している。しかし、現実はそう甘くはない。このコースの幾つかの問題点を列挙する。

(a) 半数以上の学習者は受講前提知識がない

表1に、コース開始前に、オブジェクト指向の8つの概念について「理解している」と答えた比率を示す。表の「全体欄」は全体の比率を示す。「知らg」、「説明g」は、それぞれ、前項(2)で定義した「知らないグループ」と「説明できるグループ」である。全体の半数以上の学習者が本

コースの受講前提知識である基本的概念を充分には理解していないことを示している。

(b) 受講前知識のばらつきが大きい

また、表1は、「知らないグループ」と「説明できるグループ」間それぞれで、および、同じグループの学習者でもオブジェクト指向の概念間で、受講前の知識に大きなばらつきがあることを示している。

表1 コース開始前の概念理解度

	全体	知らg	説明g
クラスとインスタンス相違	59%	30%	83%
インスタンス生成	59%	35%	91%
インスタンス初期設定	51%	30%	91%
関係	27%	5%	50%
メッセージ・パッシング	35%	5%	75%
継承	62%	45%	100%
カプセル化	51%	25%	83%
ポリモフィズム	37%	15%	66%
(単純平均)	48%	24%	64%

「知らg」とは「知らないグループ」

「説明g」とは「説明できるグループ」

(c) 概念の伝統的説明だけでは不十分

学習者のレベルあわせのため、コースの最初に2時間程度、テキストとOHPという集合教育の伝統的方法でオブジェクト指向基本概念の説明をしている。しかし、知識の無いひとが短時間でオブジェクト指向の概念を理解することは難しい。表2参照。インスタンスの初期設定、関係、メッセージ・パッシング、ポリモフィズムについて半数の学習者が理解したとは思っていない。

表2 知らないグループの理解度推移

	開始前	説明後
クラスとインスタンス相違	30%	90%
インスタンス生成	35%	85%
インスタンス初期設定	30%	55%
関係	5%	45%
メッセージ・パッシング	5%	55%
継承	45%	80%
カプセル化	25%	65%
ポリモフィズム	15%	40%
(単純平均)	24%	64%

「開始前」とはコース開始前、

「説明後」とは概念の説明後

(d) 擬人化してものを考える経験がない

学習者の大部分は構造化パラダイムの経験者であり、擬人化してものを考えるという経験を持っていない [6]。例えば、ホテルのアプリケーションでは、クラス「部屋」の「201号室」というオブジェクト、クラス「部屋仕様」の「シングル」というオブジェクトを考える。クライアントが、201号室のオブジェクトに室料を尋ねるメッセージを送る。201号室は、自分は自分の部屋の状態は知っているが、自分の室料は知らない。しかし、自分の室料をシングルオブジェクトが知っていることは知っている。そこで、シングルオブジェクトに尋ねて、その結果をクライアントに返す。世の中にホテルは沢山あるが、201号室のように知的なオブジェクトにお目にかかったことはない。まして、シングルという抽象的な概念のオブジェクトまでも知的である。Peter Coad [3] の表現を使うと、データとは「私の知っていること：What I know」であり、操作とは「私のすること：What I do」、関係とは「私の知っているひと：Who I know」である。オブジェクトをこのようにあたかも人であるかのように扱うこと（擬人化：personification）に面食らう学習者は多い。

(4) 問題点への対応方法

既述のとおりこのコースの学習目的は「分析ができる」ことである。かぎられた時間の中で概念の説明のみに多くの時間を費やすことはできない。効率と効果の両立の目指してCRC法を導入することにした。

3. CRC法の適用

本章では、最初に、CRCの概要を紹介する。前章で述べた問題点に対応するために、集合教育の演習で使用している

(1) オリジナルCRC法

CRC法は、CunninghamがTectronixでオブジェクト指向を教えるために開発した。AT&Tではオブジェクト指向のモデル化のために使っている[1][2]。CRC法の特徴の一つは分析段階でカード（通常、10cm x 15cm）を使用することである。カードの表には、クラス名（Class）、責任（Responsibility）、協調者（Collaborator）を、裏には、クラスの定義とデータを書く。責任は可能な解（操作）を見つける手掛かりとなる。協調者とは、メッセージを送ったり送られたりするオブジェクトである。図1。

クラス名		クラスの定義
責任	協調者	
		データ

図1 CRC カード表 CRC カード裏

分析は、CRCセッションと呼ばれる少人数（5～6名）からなるチームで行う。

- ・通常、チームには、実務者、情報処理技術者に加えて、オブジェクト指向の専門家が参加する。
- ・問題文（要求仕様）よりクラスをブレインストーミングなどで抽出する。
- ・チームのメンバは幾枚かのクラス名が書かれたカードを机の前に置く。
- ・メンバは、クラスとオブジェクトのふた役を演じる。
- ・シナリオを決め、シナリオを実行する。メッセージをパスされたオブジェクトは、カードを持ち上げる。責任（操作）が終了すると、カードを机に戻す。
- ・このシナリオ実行を通して、責任、協調者、データがカードに追加されてゆく。

本稿では、区別する必要があるとき、上記のCRC法をオリジナルCRC法と呼ぶ。

(2) CRC法の使用目的

第二章で概説したとおり、この分析コースで扱う内容は、ユースケース、シナリオの作成、オブジェクトの抽出、シーケンス図、および、クラス図の作成である。方法論はOMTの流れに沿ったものであり、表記法はUML(Unified Modeling Language:統一モデル言語)である。CRC法を使用する目的は前章で述べたとおり、オブジェクト指向の概念についての学習者間のレベルあわせをすることと、オブジェクト指向の分析・設計に不可欠の考え方である擬人化を体験することである。しかも、それはこのコースの目的ではなく、単に受講の前提知識なので、短時間でおこなう必要がある。

この使用目的からは、オリジナルCRC法をそのままの姿で実施することには、以下の問題がある。

- ・オリジナルCRCセッションは小人数のチームから構成され、各チームにオブジェクト指向の専門家が参加するが、集合教育では、受講料の制約から多数のオブジェクト指向専門家を

用意できない。

- ・オリジナルCRC法では、チームのメンバは、クラスとオブジェクト（インスタンス）のふた役を演じるが、クラスとインスタンスの違いを十分理解していない学習者は混乱をする。
- ・オリジナルCRC法のカードが集合教育で使用するには小さすぎ、記述内容が後列の学習者には見えない。

(3) 演習CRC法

このオリジナルCRC法を、筆者らは以下のように変更した。

- 初期状態では、クラスさんが登場する。
- 各クラスさんは、一枚のカード（A4）を保有する。カードには、クラス名、データ名、関係、操作名が記述されている。
- クライアントさんがオレンジをもって登場し、適当なクラスさんから適当なインスタンスさんを生成する。この時、クラスさんに向かって、大きな声で「new」と言ってオレンジを投げる。オレンジを投げられたクラスさんは、フロア（観客席）から、生成するインスタンスさんを見つけ、舞台に登場していただく。コンストラクタがあれば、インスタンスさんのデータを初期設定する。
- 生成されたインスタンスさんは、クラスさんからカードを渡される。クラスに定義されているデータの型のコピーし、初期設定されれば、その値を記録する。
- 他のインスタンス（または、クラス）さんにメッセージをパスするときは、大きな声で、そのインスタンス（クラス）さんをよび、操作名言って、そのインスタンス（クラス）さんにオレンジを投げる。
- 操作が終了すると、メッセージをパスしたインスタンス（または、クライアント）さんにオレンジを返す。

以降、区別する必要があるとき、このCRC法を演習CRC法と呼ぶ。

(4) 演習CRC法の適用

概念を説明のあと、演習CRC法を、芋虫問題[6]、Item-SpecificItem[4]、Observer Patternの適用例で、実施している。テキストには、それぞれのクラス図、インスタンス図、シーケンス図、C++でのソースコードが用意されており、クラス全員で前項(3)の方法で行う。

4. 演習 CRC 法の効果

(1) 知らないグループの理解度

知らないグループの、理解度の変化を示す。

予備知識の少ない学習者に対して、概念の説明で、クラスとインスタンスの違い、インスタンスの生成、継承、カプセル化については、理解度を高めることができる。しかし、インスタンスの初期設定、関係、メッセージ・パッシング、ポリモフィズムの理解度を高めることが難しいことを示している。

CRC 法の演習は、インスタンスの初期設定、関係、メッセージ・パッシングの理解に貢献していることがわかる。しかし、ポリモフィズムについては、いまいちである。

表 3 知らないグループの理解度推移

	コース 開始前	概念説 明後	CRC 後
クラスとインスタンス相違	30%	90%	100%
インスタンス生成	35%	85%	100%
インスタンス初期設定	30%	55%	80%
関係	5%	45%	80%
メッセージ・パッシング	5%	55%	90%
継承	45%	80%	80%
カプセル化	25%	65%	75%
ポリモフィズム	15%	40%	60%
(単純平均)	24%	64%	83%

(2) 説明できるグループの理解度

説明できるグループの、理解度の変化を表 4 に示す。

表 4 説明できるグループの理解度推移

	コース 開始前	概念説 明後	CRC 後
クラスとインスタンス相違	83%	100%	100%
インスタンス生成	91%	100%	100%
インスタンス初期設定	91%	100%	100%
関係	50%	83%	100%
メッセージ・パッシング	75%	91%	100%
継承	100%	100%	100%
カプセル化	83%	100%	100%
ポリモフィズム	66%	83%	91%
(単純平均)	64%	80%	99%

(3) 説明できるグループの「使える」分布

参考のために、説明できるグループが、演習

CRC 法の後に、オブジェクト指向の概念を分析・設計作業で「使える」と答えた分布を表 5 に示す。受講前に基本的な概念のいくつかを説明できる知識と経験をもつ学習者も、その概念を「使って」分析ができると受講前に捉えている比率は低い。

基本的な概念の説明によって、受講前低かったインスタンスの生成、関係、メッセージ・パッシングについて、ある程度の向上が見られる。

演習 CRC 法によって、説明だけでは不十分であったインスタンスの初期設定、メッセージ・パッシング、継承、カプセル化の比率が上がっている。しかし、この形式の演習では、このコースの学習目的である「分析ができる」は達成できない。

なお、誤解を避けるために、繰り返しておく。演習 CRC 法は概念の理解と擬人化の体験が目的である。この演習のあと、本コースの分析の実質的な教育が始まる。

表 5 説明できるグループの「使える」の推移

	コース 開始前	概念説 明後	CRC 後
クラスとインスタンス相違	8%	25%	33%
インスタンス生成	0%	16%	25%
インスタンス初期設定	8%	16%	33%
関係	0%	8%	16%
メッセージ・パッシング	0%	16%	33%
継承	8%	16%	41%
カプセル化	8%	16%	33%
ポリモフィズム	8%	16%	25%
(単純平均)	5%	14%	30%

5. まとめ

第二章では、集合教育「オブジェクト指向指向分析コース」の問題点、第三章では、その対応方法として演習 CRC 法の概要を述べた。第四章の数字は演習 CRC 法適用の所期の目的を達成していることを示している。

ここでは、演習 CRC 法の評価とオリジナル CRC 法との違いを整理する。

(1) 擬人化

オリジナル CRC 法は分析メンバを、演習 CRC 法は学習者をオブジェクトそのものになりさせる。ともに、擬人化してものを考える訓練には適している。オリジナル CRC 法は少人数で実施するが、集合教育では多数の学習者を対象にして学習効率を求める。第四章の数字は、学習者の事前

の知識や経験によって学習効果に差があるが、演習 CRC 法が集合教育で、基本的なオブジェクト指向の概念の学習に有効であることを示している。主要な工夫点を以下に整理する。

・クラスとインスタンスの相違、インスタンスの生成

演習では、最初にクラスとクライアントが登場する。アプリケーションプログラムがメモリ上に読み込まれた状態である。オレンジがクラスに投げられたとき、クラスが観客席よりインスタンスをつれてくる。また、オレンジは、クラスに投げられたり(クラス操作)、インスタンスに投げられたり(インスタンス操作)する。観衆(学習者)は、これらを視角的に確認できる。

オリジナル CRC 法では、メンバは複数のクラス、複数のインスタンスを担当する。オブジェクト指向の初心者にはクラスとインスタンス、インスタンス同士の違いで混乱することがある。演習 CRC 法では、一人の学習者が兼務で演じるすることはない。集合教育なので役者はふんだんにいるのでこれが可能である。

・インスタンスの初期設定

インスタンスは生成されると、クラスからデータの型がコピーされたカードを渡され、コンストラクタがあれば、初期値を書き込む。観衆は視覚によって確認できる。

・関係

集約と関連は、オブジェクト指向初心者になかなか理解されないが、CRC 法は、各オブジェクトがだれを知っているかをカードに明示的に既述するので、学習者にわかりやすい。オレンジを投げるときに、その相手を呼ぶが、「その人を知っていますよね」といって確認できる。

・メッセージ・パッシング

オレンジを投げる、オレンジを受け取る、オレンジを返すという行為の印象は強烈である。

・継承

インスタンスは生成されたとき、直属のクラスとスーパークラスのデータの型を継承することを確認できる。また、オレンジが受け取ったとき、直属のクラスにその操作があることを確認する。ないときは、スーパークラスを逆上り確認する。

・カプセル化

クラスのカードには、データと操作(責任)が一体で書かれている。インスタンスは、自分の知っていること(データ)と自分のすること(操

作)を視覚的に体験できる。

・ポリモフィズム

説明ではなかなか理解されないこの概念に対しても、CRC 法は強烈である。異なるクラスから生成されたインスタンスは、同じメッセージでも振る舞いが異なることを確認できる。

(2) インスタンスのライフタイム

オリジナル CRC 法では、だれが、いつ、インスタンスを生成するかや破壊するかについては、分析ではなく設計で扱っている。しかし、オブジェクト指向の概念を理解する上では不可欠なので、演習 CRC 法では、インスタンスのライフタイムを可視化できるようにした。学習者に高い評価を得ている。

(3) カードについて

オリジナル CRC 法のカードは 10cm x 15 cm である。集合教育では多くの学習者に少し距離があっても見えるように A4 のカードを使っている。太めの筆記用具で書くので、一枚のカードの情報量はむしろ少ない。また、カードの表には、クラス名、操作、関係、データを書いている。操作は責任、関係は協調者に相当する。裏は使っていない。

参考文献

1. A Laboratory For Teaching Object-Oriented Thinking; Kent Beck Ward Cunningham; OOPSLA 89 Proceedings; Oct. 89
2. Using CRC Cards: An Informal Approach to Object-Oriented Development; Nancy M. Wilkinson; SIGS BOOK; 1995
3. Object Models; Peter Coad; Prentice Hall; 1995
4. Object-Oriented Patterns; Peter Coad; Communications of ACM; Sep 1992
5. デザインパターン; Gamma たち; ソフトバンク; 本位田真一ほか訳; トップラン; 1992
6. オブジェクト指向指向へのいざない; 中谷多哉子; オブジェクト指向指向シンポジウム資料集; 1996 7
7. OO 集合教育の経験; 高橋 富夫、田中 達雄、吉原 哲宏; 情報処理学会 ソフトウェア工学研究会 オブジェクト指向シンポジウム; 1996 6
8. 言語体験による繰り返し型オブジェクト指向グループ学習; 高橋 富夫、深沢 竜一、吉原 哲宏; 報処理学会 情報システム研究会; 1997 3